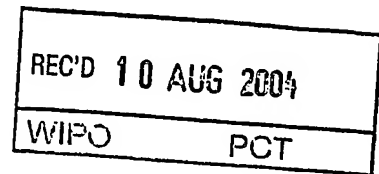


# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT/EP04/8104

BEST AVAILABLE COPY



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

103 33 456.4

Anmeldetag:

22. Juli 2003

Anmelder/Inhaber:

KUKA Schweissanlagen GmbH, 86165 Augsburg/DE

Bezeichnung:

Verfahren und Vorrichtung zum Laserbearbeiten von  
Werkstücken

IPC:

B 23 K 26/10

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Juli 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Stanschus

Anmelder: KUKA Schweissanlagen GmbH  
Blücherstrasse 144  
D-86165 Augsburg

Vertreter: Patentanwälte  
Dipl.-Ing. H.-D. Ernicke  
Dipl.-Ing. Klaus Ernicke  
Schwibbogenplatz 2b  
86153 Augsburg / DE

Datum: 22.07.2003

Akte: 772-1006 er

## BESCHREIBUNG

### Verfahren und Vorrichtung zum Laserbearbeiten von Werkstücken

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Laserbearbeiten von Werkstücken mit dem Merkmalen im Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Aus der Praxis ist es bekannt, mit einem Laserwerkzeug verschiedene Arten von Werkstückbearbeitung durchzuführen, z.B. Schweißen, Schneiden, Gravieren, Beheizen oder dergleichen. Die Laserwerkzeuge werden mittels mehrachsigen mechanischen Manipulatoren, z.B. Kreuztischen, mehrachsigen Gelenkarmrobotern oder dergleichen relativ zum Werkstück bewegt. Beim Laserschweißen ist es üblich, das Laserwerkzeug mittels eines Andrückelementes in Kontakt und mit gleichbleibendem Abstand zum Werkstück zu führen. Hierbei können Fokussieroptiken mit festen und relativ kurzen Brennweiten eingesetzt werden. Ferner ist in der Praxis das Laser-Remoteschweißen bekannt, bei dem ein Laserwerkzeug mit feststehender und längerer Brennweite von einem mehrachsigen Manipulator in einem größeren Abstand relativ zum Werkstück geführt wird. Beim Remote-Schweißen ist es außerdem bekannt, das Laserwerkzeug mit einer Scannereinrichtung auszustatten, die den Laserstrahl ablenkt und relativ zum Werkstück bewegt.

Bei den vorgenannten Laserbearbeitungen ist die Prozessgeschwindigkeit des Laserstrahls am Werkstück, z.B. die Schweißgeschwindigkeit, begrenzt. Sie liegt bei YAG- oder CO<sub>2</sub>-Lasern bei ca. 4 - 6 m/min. Mit Faserlasern oder Scheibenlasern sind höhere Geschwindigkeiten bis momentan ca. 10 m/min erreichbar. Die Versatzgeschwindigkeit, mit der der Manipulator das Laserwerkzeug entlang einer

vorgegebenen Bahn bei der Bearbeitung, z.B. beim Laserschweißen, bewegt, entspricht der vorerwähnten Bearbeitungsgeschwindigkeit. Wenn strichweise Bearbeitungsvorgänge stattfinden, z.B. beim Steppnahtschweißen, kann der Manipulator in den Transportphasen zwischen den Schweißvorgängen schneller bewegt werden. Bei den meisten Bearbeitungsvorgängen, z.B. beim Laserschweißen, wird angestrebt, möglichst viele Schweißnähte in möglichst kurzer Zeit zu setzen. Durch die relativ niedrige Schweißgeschwindigkeit sind dem aber Grenzen gesetzt, zumal der Manipulator in den Transportphasen Beschleunigungs- und Bremsvorgänge durchführen muss und dadurch ebenfalls im Geschwindigkeitsniveau begrenzt ist. Zudem führen derartige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge zu höheren Belastungen.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine bessere und leistungsfähigere Laserbearbeitungstechnik aufzuzeigen.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen im Verfahrens- und Vorrichtungshauptanspruch. Die Überlagerung der führenden Versatzbewegung und einer entgegen gerichteten Ausgleichsbewegung des Laserstrahls hat den Vorteil, dass das Gesamt-Geschwindigkeitsniveau des Manipulators erhöht werden kann, ohne dass die zulässige Bearbeitungsgeschwindigkeit am Werkstück überschritten wird. Durch die Leistungssteigerung können mehr Bearbeitungsvorgänge in kürzerer Zeit als bisher durchgeführt werden. Dies hat besonders Vorteile beim Laserschweißen und speziell bei Steppnähten.

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit zur Vergleichmäßigung der Versatzbewegungen. Wenn die Versatzgeschwindigkeit ausreichend hoch ist, kann die Versatzbewegung im Wesentlichen kontinuierlich sein, was

den Manipulator entlastet. Hierbei sind allerdings in den Transportphasen trotzdem noch Geschwindigkeitserhöhungen möglich, um die Leistung noch weiter zu steigern.

5 Die Ausgleichsbewegung wird vorzugsweise über eine Schwenkbewegung der Manipulatorhand um eine ihrer Handachsen durchgeführt. Eine solche Bewegung lässt sich schnell durchführen und sehr exakt steuern, wobei diese Handachse bevorzugt eigenständig und unabhängig von der  
10 Versatzbewegung der anderen Manipulatorachsen steuerbar ist. Die Bewegung einer Handachsenbewegung und insbesondere einer möglichst weit abtriebseitig liegenden Achse hat den weiteren Vorteil, dass die beteiligten Massen klein gehalten werden können, was eine  
15 trägheitsarme Ausgleichsbewegung erlaubt.

Das Laserwerkzeug kann mittels eines Auslegers oder einer anderen geeigneten Technik mit Abstand von der Manipulatorhand und der für die Ausgleichsbewegung  
20 beaufschlagten Handachse montiert sein. Durch die Abstandsvergrößerung genügen kleine Drehwinkel der Handachse, um große Ausgleichsbewegungen und -wege zu erzielen. Durch Veränderung des Abstands kann das Übersetzungs- oder Hebelverhältnis geändert werden. Das  
25 Laserwerkzeug kann dank des Auslegers eine kurze und vorzugsweise feste Brennweite haben. Das hat Vorteile bei der Fokustoleranz und bei der breiten Auswahl an einsetzbaren Lasersystemen. Auf eine Scannereinrichtung wird im bevorzugten Ausführungsbeispiel verzichtet, was  
30 den Bauaufwand vereinfacht und die Kosten senkt.

Bei einer Ausgleichsschwenkbewegung wird zu Beginn des Bearbeitungsvorgangs, insbesondere am Anfang der zu setzenden Schweißnaht, der Laserstrahl dem Laserwerkzeug  
35 und der Versatzbewegung vorausseilend schräg auf das Werkstück gerichtet. Ein solcher von der normalerweise senkrechten Strahlrichtung abweichender Einstrahlwinkel

von z.B.  $15^\circ$  hat Vorteile beim Einstechen des Laserstrahls  
am Werkstück. Im Verlauf der Ausgleichsbewegung ändert  
sich die Strahlrichtung über den senkrechten Einfallswinkel  
bis zu einem schräg rückwärts gerichteten Strahlwinkel,  
5 was wiederum Vorteile am Nahtende hat.

In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte  
Ausgestaltungen der Erfindung angegeben.

10

15

20

25

30

35

Die Erfindung ist in den Zeichnungen beispielsweise und schematisch dargestellt. Im einzelnen zeigen:

- 5      Figur 1: eine Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem mehrachsigen Roboter, einem Ausleger und einem Laserwerkzeug an einem Werkstück in Seitenansicht,
- 10     Figur 2: einen Bewegungsablauf einer Ausgleichsbewegung des Laserwerkzeugs in sieben Schritten A - G,
- 15     Figur 3: eine Wegedarstellung von Schweißnaht und Ersatzweg,
- 20     Figur 4: ein Geschwindigkeitsdiagramm für Versatzgeschwindigkeit, Ausgleichsgeschwindigkeit und Schweißgeschwindigkeit,
- 25     Figur 5: eine Vektordarstellung der überlagerten Geschwindigkeiten,
- 30     Figur 6: verschiedene Nahtformen und
- 35     Figur 7: ein Schweißschema an einer Karosserieseitenwand.

Figur 1 zeigt eine Laserbearbeitungsvorrichtung (1), die aus mindestens einem mehrachsigen mechanischen Manipulator (2) und einem Laserwerkzeug (3) besteht, welches mindestens einen Laserstrahl (4) auf ein Werkstück (6) emittiert.

Der Manipulator (2) ist vorzugsweise als mindestens sechssachsiges Gelenkarmroboter ausgebildet. Dieser besteht in der gezeigten Ausführungsform aus einem Sockel (12),

auf dem um eine erste vertikale Drehachse I eine Konsole (11) drehbar gelagert ist, an der wiederum eine Schwinge (10) um eine horizontale Schwenkachse II schwenkbar gelagert ist. Am oberen Schwingenende ist um eine weitere horizontale Schwenkachse III ein Roboterarm (9) schwenkbar gelagert, an dessen vorderen Ende eine dreiachsige Roboterhand (8) mit drei kreuzenden Handachsen IV, V und VI angebracht ist. Am vorderen Ende hat die Roboterhand (8) einen drehbaren Abtriebsflansch, an dem das Laserwerkzeug (3) montiert ist.

Das Laserwerkzeug (3) ist in den Zeichnungen nur schematisch dargestellt. Es kann von beliebig geeigneter Bauart sein, z.B. ein YAG-Laser, ein CO<sub>2</sub>-Laser, ein Faserlaser, ein Scheibenlaser oder dergleichen. Die Laserstrahlquelle kann extern angeordnet sein, wobei der Laserstrahl am Laserwerkzeug (3) in geeigneter Weise über Spiegel, ein Lichtleitfaserkabel oder dergleichen eingekoppelt wird. Der austretende Laserstrahl (4) kann in Abwandlung der gezeigten Ausführungsform mehrteilig sein und aus mehreren, ggf. durch Strahlspaltung aufgeteilten Einzelstrahlen bestehen.

Das Laserwerkzeug (3) ist z.B. als Laserschweißkopf ausgebildet. Es hat eine feste Brennweite von z.B. ca. 150-400 mm. Die Brennweite kann je nach Art der Lasereinheit variieren. Ein YAG-Laser hat typischerweise z.B. 240 mm Brennweite. Die Fokussieroptik ist vorzugsweise winkelfest ausgebildet, so dass der emittierte Laserstrahl (4) nicht abgelenkt wird. Zum Ausgleich evtl. Fokussier- oder Positionierungsungenauigkeiten kann das Laserwerkzeug (3) einen Höhenausgleich haben, mit dem die Fokussieroptik in Strahlrichtung nachgestellt wird, um den Brennfleck und den Fokus auf der Oberfläche des Werkstücks (6) zu halten. Hierfür kann auch eine entsprechende Abstandsmesseinrichtung vorhanden sein.



Das Werkstück (6) kann von beliebiger Art sein.  
Vorzugsweise handelt es sich um ein oder mehrere  
Karosserieteile, insbesondere Rohkarosserieteile, von  
Fahrzeugen. Figur 5 zeigt hierzu ein Beispiel mit einer  
5 Karosserie-Seitenwand. Das Werkstück (6) kann aus mehreren  
Bauteilen bestehen, die fügegerecht positioniert und durch  
eine Spanneinrichtung (nicht dargestellt) gespannt sind.  
Vorzugsweise ist das Werkstück (6) stationär gehalten,  
kann alternativ aber auch relativ zum vorzugsweise  
10 stehenden Roboter (2) oder Manipulator bewegt werden.

Das Laserwerkzeug (3) ist mit Abstand von der Roboterhand  
(8) angeordnet und wird hierbei z.B. durch einen  
entsprechenden Ausleger (5) distanziert. Alternativ kann  
15 das Laserwerkzeug (3) ein entsprechend verlängertes  
Gehäuse besitzen. In der gezeigten Ausführungsform mit  
einem stehenden Werkstück (6) sind das Laserwerkzeug (3)  
und der Ausleger (5) plan am Abtriebsflansch der  
Roboterhand (8) montiert, so dass die Abtriebsachse VI der  
20 Roboterhand (8) und die Austrittsachse des Laserstrahls  
(4) zusammen fallen. Alternativ kann die Roboterhand (8)  
um die quer liegende Handachse V um ca. 90° nach unten  
oder oben gedreht sein, wobei der Ausleger (5) quer am  
Abtriebsflansch und quer zur Abtriebsachse VI angeordnet  
25 ist.

Zwischen dem unteren oder vorderen Ende des Laserwerkzeugs  
(3) und dem Werkstück (6) besteht ein freier  
Arbeitsabstand a. Die Brennweite b der im Laserwerkzeug  
30 (3) angeordneten und nicht näher dargestellten  
Fokussieroptik ist etwas größer. Mit x wird die Tool-  
Center-Point-Koordinate (TCP-Koordinate) in Werkzeug- bzw.  
Laserstrahlrichtung bezeichnet. Sie bezieht sich auf ein  
vorzugsweise im Abtriebsflanschzentrum angeordnetes  
35 Flanschkoordinatensystem, welches als Bezug für die  
nachfolgend erläuterten Versatz- und Ausgleichsbewegungen  
sowie die Orientierungen des Laserstrahls (4) bzw. des

Laserwerkzeugs (3) dient. Die TCP-Koordinate ist vorzugsweise der Abstand zwischen Fokus und Fußpunkt des Flanschkoordinatensystems.

5 Der Roboter (2) hält das Laserwerkzeug (3) mit Abstand vom Werkstück (6) und führt es in einer vorprogrammierten und vorzugsweise in der Robotersteuerung (nicht dargestellt) gespeicherten Bahn entlang der Werkstückoberfläche. Zwischen Laserwerkzeug (3) und Werkstück (6) besteht  
10 hierbei vorzugsweise kein Berührungskontakt. Diese globale Führungsbewegung wird als Versatzbewegung bezeichnet, wobei der Roboter einen Versatzweg  $f$  und eine Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  entlang der Bahn (nicht dargestellt) am Werkstück (6) ausführt. Im Rahmen dieser  
15 Versatzbewegung würde normalerweise das Laserwerkzeug (3) derart bewegt und geführt, dass der austretende Laserstrahl (4) senkrecht zur Werkstückoberfläche gerichtet ist.

20 Mit dem Laserwerkzeug (3) können unterschiedlichste Bearbeitungsvorgänge durchgeführt werden. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird ein Schweißprozess durchgeführt, wobei Steppnähte gesetzt werden, die aus einer Vielzahl von kurzen Nähten (7) bestehen, die mit beliebigem Abstand  
25 hintereinander in Bahnrichtung gesetzt werden. Figur 4 verdeutlicht im oberen Teil eine solche Steppnaht. Beim Steppnahtschweißen führt der Roboter (8) zwischen den einzelnen Nähten (7) Transportbewegungen aus, bei denen der Laserstrahl (4) ausgeschaltet ist. Dies kann in  
30 beliebig geeigneter Weise durch Abschalten der Laserstrahlquelle, alternativ aber auch durch zeitweises Umschalten des Laserstrahls mittels einer Weiche auf andere Laserwerkzeuge geschehen. Die Nahtlängen, Nahtformen und die Transportwege können variieren.

Beim Schweißen der Steppnaht wird der Versatzbewegung des Roboters (2) eine zumindest partiell entgegen gerichtete Ausgleichsbewegung des Laserstrahls (4) überlagert. Die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  ist hierbei größer als die entgegen gerichtete Ausgleichsgeschwindigkeit  $V_w$ . Hierdurch wird z.B. die am Werkstück (6) wirkende Bearbeitungs- oder Schweißgeschwindigkeit  $V_s$  des Laserstrahls (4) verringert und ist wesentlich kleiner als die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$ . Alternativ kann die entgegen gerichtete Ausgleichsgeschwindigkeit  $V_w$  zumindest stellenweise größer als die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  sein, was sogar eine rückwärts gerichtete Bearbeitungs- oder Schweißgeschwindigkeit  $V_s$  erzeugt. Hierdurch lassen sich z.B. beim Schweißen Schuppenlagen durch eine abwechselnd vorwärts und rückwärts gerichtete Pendelbewegung des Laserstrahls (4) erzeugen. Zusätzlich kann der Laserstrahl (4) bei der Ausgleichsbewegung eine seitliche Auslenkung erhalten.

Figur 6 zeigt verschiedene, durch die beanspruchte Technik erzeugbare Nahtformen. In der einfachsten und bevorzugten Ausführungsvariante besteht die Steppnaht aus einzelnen und im Wesentlichen geraden oder einfach gebogenen Nahtabschnitten (7). Dies ist im oberen Teil von Figur 6 dargestellt. Der untere Teil von Figur 6 zeigt weitere Abwandlungen. Dies können einerseits quer zur Bahnrichtung ausgelenkte Zick-Zack-Nahtformen sein. Außer diesen endlichen Nahtformen sind auch endlose Nahtformen, z. B. Kreise, Ovale oder Spiralförmigkeiten gemäß Figur 6 sein. In den nachfolgenden Erläuterungen wird auf das bevorzugte Ausführungsbeispiel von Steppnähten aus geraden Nahtstrichen eingegangen. Für die anderen in Figur 6 gezeigten Nahtformen gelten entsprechende Abwandlungen.

Die Ausgleichsbewegung des Laserstrahls (4) ist vorzugsweise eine Winkelbewegung, die zumindest teilweise in Richtung der verfolgten Bahn und entgegen der

Versatzbewegung erfolgt. Ggf. ist auch die erwähnte  
seitliche Auslenkbewegung möglich. Die Ausgleichsbewegung  
des Laserstrahls (4) wird durch eine Schwenkbewegung der  
Roboterhand (8) um mindestens eine ihrer Handachsen  
5 ausgeführt. Im gezeigten Ausführungsbeispiel von Figur 1  
mit der geraden Steppnaht ist diese Ausgleichsbewegung  
eine Drehung um die quer liegende Handachse V. Pfeile  
verdeutlichen die Versatz- und Ausgleichsbewegung. Eine  
evtl. seitliche Auslenkbewegung kann z.B. bei einer um  $90^\circ$   
10 nach oben oder unten geschwenkten Roboterhand (8) durch  
eine ggf. überlagerte Drehung der Flanschachse VI  
erfolgen.

Die für die Ausgleichsbewegung zuständige Handachse, hier  
15 die Achse V, ist unabhängig von der Versatzbewegung  
steuerbar. Dies schließt nicht aus, dass die betreffende  
Handachse an der Versatzbewegung beteiligt ist, um das  
Laserwerkzeug (3) entlang der Werkstückoberfläche und der  
gewünschten Bahn zu führen. Diesem Achsanteil an der  
20 Versatzbewegung ist jedoch die Ausgleichs-Schwenkbewegung  
überlagerbar. Zu diesem Zweck ist es nützlich, wenn die  
Robotersteuerung nicht nur bahnbezogene Winkeländerungen  
zulässt, sondern vielmehr sowohl bahnbezogen wie auch  
winkelbezogen programmiert werden kann.

Durch den Abstand x der TCP-Koordinate führen kleine  
Winkelbewegungen um die Handachse V zu entsprechend großen  
Wegen des Laserstrahls (4) am Werkstück (6).  
Dementsprechend führt die überlagerte und entgegen  
30 gerichtete Ausgleichsbewegung zur einer Verringerung der  
Bearbeitungs- und Schweißgeschwindigkeit  $V_s$  am Werkstück  
(6).

Figur 2 verdeutlicht einen solchen Bewegungsablauf beim  
35 Schweißen eines kurzen Nahtabschnittes in sieben Schritten  
A bis G.

Schritt A zeigt die Ausgangsposition am Ende einer

Transportphase mit ausgeschaltetem Laserstrahl (4). Die Laserstrahlachse bzw. die Orientierung des Laserwerkzeugs (3) und des Auslegers (5) ist senkrecht zur Werkstückoberfläche gerichtet.

5 Aus dieser Position startet die Ausgleichsbewegung, wobei das Laserwerkzeug (3) vor Schweißbeginn in Richtung der durch einen Pfeil verdeutlichten Versatzbewegung gedreht und schräg zur Werkstückoberfläche ausgerichtet wird. Der dann eingeschaltete Laserstrahl (4) hat zum Beginn der  
10 Schweißnaht gemäß Schritt B einen vorwärts gerichteten schrägen Strahlwinkel  $\alpha$ , mit dem er auf die Oberfläche des Werkstücks (6) trifft. Dieser Winkel  $\alpha$  ist zu Schweißbeginn maximal und kann je nach Laserart und anderen nachfolgend näher erläuterten Schweißbedingungen,  
15 z.B. ca.  $15^\circ$  gegen die gestrichelt dargestellte Senkrechte zur Werkstückoberfläche betragen.

In der weiteren Versatzbewegung wird nun durch die entgegen gerichtete Ausgleichsbewegung um die Handachse V der Strahlwinkel  $\alpha$  verkleinert. Bild C zeigt dies mit  
20 einem halbierten schräg vorwärts gerichteten Strahlwinkel  $\alpha'$  von ca.  $7,5^\circ$ .

Im Bild D ist der Strahlwinkel des Laserstrahls vertikal zur Werkstückoberfläche.

In der weiteren Versatzbewegung wird durch die  
25 Ausgleichsbewegung ein schräg rückwärts gerichteter Strahlwinkel  $\beta$ ,  $\beta'$  erzeugt, der sich zunehmend vergrößert. Im Bild E beträgt der rückwärtige Strahlwinkel  $\beta'$  ca.  $7,5^\circ$ .

Bild F verdeutlicht das Ende der Naht (7) und einen  
30 maximalen rückwärtigen Strahlwinkel  $\beta$  von ca.  $15^\circ$ .

Die Ausgleichsbewegung läuft vorzugsweise symmetrisch ab, so dass die vorwärts und rückwärts gerichteten Strahlwinkel  $\alpha$ ,  $\alpha'$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$  in ihrem Absolutwert in etwa  
35 gleich groß sind. Die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  ist während des Schweißens vorzugsweise konstant. Die Ausgleichsgeschwindigkeit  $V_w$  ist vorzugsweise ebenfalls

konstant.

5 Durch die drehende Ausgleichsbewegung beschreibt der  
Fokuspunkt einen Bogen. Zum Ausgleich kann entweder der  
Roboter (2) mit seinen Achsen eine entsprechend entgegen  
gerichtete bogenförmige Versatzbewegung ausführen, so dass  
der Fokuspunkt stets in konstanter Position zur  
Werkstückoberfläche bleibt. Er kann dabei z.B. auf oder  
knapp unter Werkstückoberfläche liegen. Alternativ kann  
10 über die vorerwähnte Höhenverstellung der  
Fokussiereinrichtung eine Kompensation der Bogenbewegung  
und deren damit normalerweise einhergehenden  
Fokusverschiebung stattfinden.

15 Wie Figur 3 verdeutlicht, ist beim Schweißen der  
zurückgelegte Versatzweg  $f$  des  
Flanschkoordinatenbezugspunkts wesentlich größer als der  
Schweißweg bzw. die Nahtlänge  $s$ .

20 Figur 4 verdeutlicht die betragsmäßigen  
Geschwindigkeitsverhältnisse in einem Diagramm, wobei im  
oberen Teil schematisch Nahtabschnitte (7) der Steppnaht  
und die dabei auftretenden vorwärts und rückwärts  
gerichteten Strahlwinkel dargestellt sind.

25 Figur 5 zeigt die Überlagerung der  
Geschwindigkeitsvektoren  $V_r$ ,  $V_w$  und  $V_s$  unter  
Berücksichtigung ihrer Größe und Richtung für das Beispiel  
einer geraden Steppnaht gemäß Figur 1 bis 4.

30 Der Roboter (2) kann während der Schweiß- und  
Transportphasen eine gleichbleibende  
Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  fahren, wie sie in Figur 4 mit  
einer durchgezogenen Linie dargestellt ist. Durch die  
35 Ausgleichsbewegung wird eine exakt entgegen gerichtete  
Ausgleichsgeschwindigkeit  $V_w$  des Fokus an der  
Werkstückoberfläche erzeugt, die z.B. ebenfalls konstant

und halb so groß wie die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  ist. Durch die Überlagerung der beiden entgegengesetzt gerichteten Geschwindigkeiten  $V_r$  und  $V_w$  gemäß Figur 5 ergibt sich eine Schweißgeschwindigkeit  $V_s$  von 5 m/min., die z.B. der maximal möglichen Prozessgeschwindigkeit entspricht.

In Abwandlung der in Figur 4 dargestellten Verhältnisse können die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  und die Ausgleichsgeschwindigkeit  $V_w$  während der Schweißphase nicht konstant und variabel sein. Dies ist z. B. erforderlich, um die in Figur 6 gezeigten unterschiedlichen Nahtformen herstellen zu können.

Bei einem konventionellen Schweißprozess entspricht die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  der Schweißgeschwindigkeit  $V_s$ . Dank der Ausgleichsbewegung und Abstandsvergrößerung  $x$  kann die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  gegenüber dem Stand der Technik wesentlich erhöht und z.B. auf das Dreifache gesteigert werden. Hierbei ist es in Abwandlung der vorbeschriebenen Ausführungsform auch möglich, in den Transportphasen die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  noch weiter zu beschleunigen, was in Figur 4 durch gestrichelte Linien verdeutlicht wird.

Durch das insgesamt gesteigerte Geschwindigkeitsniveau der Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  kann der Schweißroboter die Abstände zwischen den Schweißnahtabschnitten sehr viel schneller als bisher überbrücken und dadurch in gleicher Zeit mehr Schweißnähte setzen als bisher. Figur 7 verdeutlicht z.B. einen solchen Ablauf beim Schweißen einer Seitenwand einer Fahrzeugkarosserie in einer einzigen Umlaufbewegung. Von einem einzelnen Schweißroboter (2) gemäß Figur 1 werden hierbei sämtliche Nahtabschnitte in einer Umlaufbahn mit mehreren, einander gegebenenfalls kreuzenden Bewegungsschleifen gesetzt.

Die möglichen Schweißnahtlängen hängen unter anderem vom TCP-Abstand  $x$  ab. Je größer dieser Abstand  $x$  ist, desto größer ist die maximale Nahtlänge  $s$ .

5 Zudem kann die Schweißnahtlänge  $s$  vom Verhältnis zwischen Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  und maximaler Schweißgeschwindigkeit  $V_s$  abhängen. Je kleiner die Unterschiede zwischen  $V_r$  und  $V_s$  sind, desto größer kann die Schweißnahtlänge  $s$  sein. Umgekehrt erlauben kurze Nahtlängen  $s$  eine wesentliche Steigerung der  
10 Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  und damit der Gesamt-Prozessleistung.

Die Nahtlängen  $s$  hängen andererseits von den maximal möglichen schrägen Strahlwinkeln  $\alpha$ ,  $\beta$  ab. Diese Strahlwinkel können je nach Bauteilwerkstoff und Art bzw.  
15 Leistung des Laserwerkzeugs (3) variieren. Je größer diese Strahlwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$  sind, desto größer kann die Nahtlänge  $s$  sein.

In der Praxis nutzbare Versatzgeschwindigkeiten  $V_r$  des Roboters bei einer Schweißgeschwindigkeit  $V_s$  von z.B. 6 m/min können bei entsprechendem Fokusabstand  $x$  ca. 50 m/min und mehr betragen. Praktisch nutzbare Nahtlängen  $s$  liegen z.B. im Bereich zwischen 5 und 50 mm.

25 Abwandlungen der gezeigten Ausführungsformen sind in verschiedener Weise möglich. Die Lage und Ausbildung des Werkstücks (6) kann sich ändern, wobei der Roboter (2) seine Orientierung entsprechend variiert. Hierdurch können auch räumliche Bahn- und Nahtverläufe wie bei der  
30 Karosserie (6) von Figur 7 bearbeitet werden. Der Roboter (2) ändert seine Orientierung hierbei vorzugsweise derart, dass stets nur eine und vorzugsweise die gleiche Handachse für die Ausgleichsbewegung zuständig ist. In Abwandlung der gezeigten Ausführungsform von Figur 1 ist es z.B. bei  
35 einem liegenden Werkstück möglich, das Laserwerkzeug (3) und den Ausleger (5) in vertikaler Ausrichtung quer am Abtriebsflansch der Roboterhand (8) zu befestigen und die



Ausgleichsbewegung über eine Drehung der letzten Handachse VI bei entsprechender Roboterorientierung durchzuführen.

5 In weiterer Abwandlung ist es möglich, die  
Ausgleichsbewegung alternativ durch mehrere Handachsen  
oder durch eine angebaute Dreh- und/oder Lineareinheit  
auszuführen. Die Dreh- und/oder Lineareinheit bewegt dann  
das Laserwerkzeug (3) zur Ausgleichsbewegung unabhängig  
10 von der Roboterhand (8). Auf einen Ausleger (5) kann in  
diesem Fall u.U. verzichtet werden. Zudem ist es möglich,  
die Ausgleichsbewegung des Laserstrahls (4) durch eine  
Scannereinrichtung im Laserwerkzeug (3) auszuführen.

15 Variabel ist auch die Ausgestaltung des Manipulators (2).  
Hierbei kann es sich im einfachsten Fall um eine  
Schlittenanordnung mit mehreren translatorischen Achsen,  
z.B. einem x-y-Schlitten handeln. Auch sind Mischformen  
von rotatorischen und translatorischen Achsen und andere  
Zahlen von Achsen und Freiheitsgraden möglich.

20 Variabel sind zudem die Art der Laserprozesse. Dies  
betrifft neben dem Schweißen z.B. das Schneiden,  
Oberflächenbearbeiten, z.B. Gravieren, oder das gezielte  
Oberflächenenerwärmen.

25

30

35

# BEZUGSZEICHENLISTE

	1	Laserbearbeitungsvorrichtung
	2	Manipulator, Roboter
5	3	Laserwerkzeug
	4	Laserstrahl
	5	Ausleger
	6	Werkstück
	7	Naht
10	8	Manipulatorhand, Roboterhand
	9	Manipulatorarm, Roboterarm
	10	Schwinge
	11	Konsole
	12	Sockel
15		
	a	freier Arbeitsabstand
	b	Brennweite der Fokussieroptik
	x	TCP-Koordinate in Werkzeugrichtung
20		
	Vr	Versatzgeschwindigkeit Roboter
	Vs	Bearbeitungsgeschwindigkeit, Schweißgeschwindigkeit
	Vw	Ausgleichsgeschwindigkeit
	f	Versatzweg Roboter
25	s	Bearbeitungsweg, Schweißweg, Nahtlänge
	$\alpha$	Strahlwinkel vorwärts
	$\alpha'$	Strahlwinkel vorwärts
	$\beta$	Strahlwinkel rückwärts
30	$\beta'$	Strahlwinkel rückwärts

## PATENTANSPRÜCHE

- 1.) Verfahren zum Bearbeiten von Werkstücken (6) mit einem bewegten Laserstrahl (4), wobei das Laserwerkzeug (3) von einem mehrachsigen mechanischen Manipulator (2) an einer Manipulatorhand (8) mit Abstand über dem Werkstück (6) gehalten und entlang einer vorgegebenen Bahn in einer Versatzbewegung bewegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass während des Bearbeitungsvorgangs der Versatzbewegung eine zumindest partiell entgegengerichtete Ausgleichsbewegung des Laserstrahls (4) überlagert wird.
- 2.) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass während des Bearbeitungsvorgangs der Versatzbewegung zusätzlich eine zumindest partiell quer gerichtete Ausgleichsbewegung des Laserstrahls (4) überlagert wird.
- 3.) Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  größer als die entgegengerichtete Ausgleichsgeschwindigkeit  $V_w$  ist.
- 4.) Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Versatzgeschwindigkeit  $V_r$  größer als die Bearbeitungsgeschwindigkeit  $V_s$  des Laserstrahls (4) am Werkstück (6) ist.
- 5.) Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgleichsbewegung des Laserstrahls (4) eine Winkelbewegung ist.

- 6.) Verfahren nach einem der vorhehrgehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass die Ausgleichsbewegung des Laserstrahls (4) durch eine  
5 Schwenkbewegung der Manipulatorhand (8) um eine ihrer Handachsen ausgeführt wird.
- 7.) Verfahren nach einem der vorhehrgehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass das  
10 Laserwerkzeug (3) mittels eines Auslegers (5) mit Abstand von der Manipulatorhand (8) gehalten wird.
- 8.) Verfahren nach einem der vorhehrgehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass der  
15 Laserstrahl (4) zu Beginn der Bearbeitung mit einem schräg vorwärts gerichteten Strahlwinkel  $\alpha$ ,  $\alpha'$  auf das Werkstück (6) gerichtet wird.
- 9.) Verfahren nach einem der vorhehrgehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass der  
20 Laserstrahl (4) am Ende der Bearbeitung mit einem schräg rückwärts gerichteten Strahlwinkel  $\beta$ ,  $\beta'$  auf das Werkstück (6) gerichtet wird.
- 10.) Verfahren nach einem der vorhehrgehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass der  
25 Manipulator (2) bei der Bearbeitung eine im wesentlichen konstante Versatzbewegung ausführt.
- 11.) Verfahren nach einem der vorhehrgehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass der  
30 Manipulator (2) zwischen den Bearbeitungen eine im wesentlichen konstante oder eine beschleunigte Versatzbewegung ausführt.  
35

12.) Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken (6) mit einem bewegten Laserstrahl (4), wobei das Laserwerkzeug (3) von einem mehrachsigen mechanischen Manipulator (2) an einer Manipulatorhand (8) gehalten und entlang einer vorgegebenen Bahn in einer Versatzbewegung bewegbar ist, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass der Manipulator (2) eine Einrichtung zur Erzeugung einer während des Bearbeitungsvorgangs ablaufenden und der Versatzbewegung entgegengerichteten und überlagerten Ausgleichsbewegung des Laserstrahls (4) aufweist.

13.) Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass der Manipulator (2) eine mehrachsige Manipulatorhand (8) aufweist, bei der mindestens eine Handachse unabhängig von der Versatzbewegung steuerbar ist.

14.) Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass das Laserwerkzeug (3) mittels eines Abstand bildenden Auslegers (5) an der Manipulatorhand (8) montiert ist.

15.) Vorrichtung nach Anspruch 12, 13 oder 14, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass das Laserwerkzeug (3) eine Fokussieroptik zur Erzeugung eines winkelfesten Laserstrahls (4) aufweist.

16.) Vorrichtung nach einem der vorhehrgehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass das Laserwerkzeug (3) eine feste Brennweite aufweist.

17.) Vorrichtung nach einem der vorhehrgehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass das Laserwerkzeug (3) eine Brennweite von ca. 150 bis 400 mm aufweist.

18.) Vorrichtung nach einem der vorhehrgehenden  
Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t,  
dass der Manipulator (2) als mindestens  
5 sechssachsiger Gelenkarmroboter ausgebildet ist.

19.) Vorrichtung nach einem der vorhehrgehenden  
Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t,  
dass das Laserwerkzeug (3) als Schweißwerkzeug  
10 ausgebildet ist.

15

20

25

30

35



Fig. 2

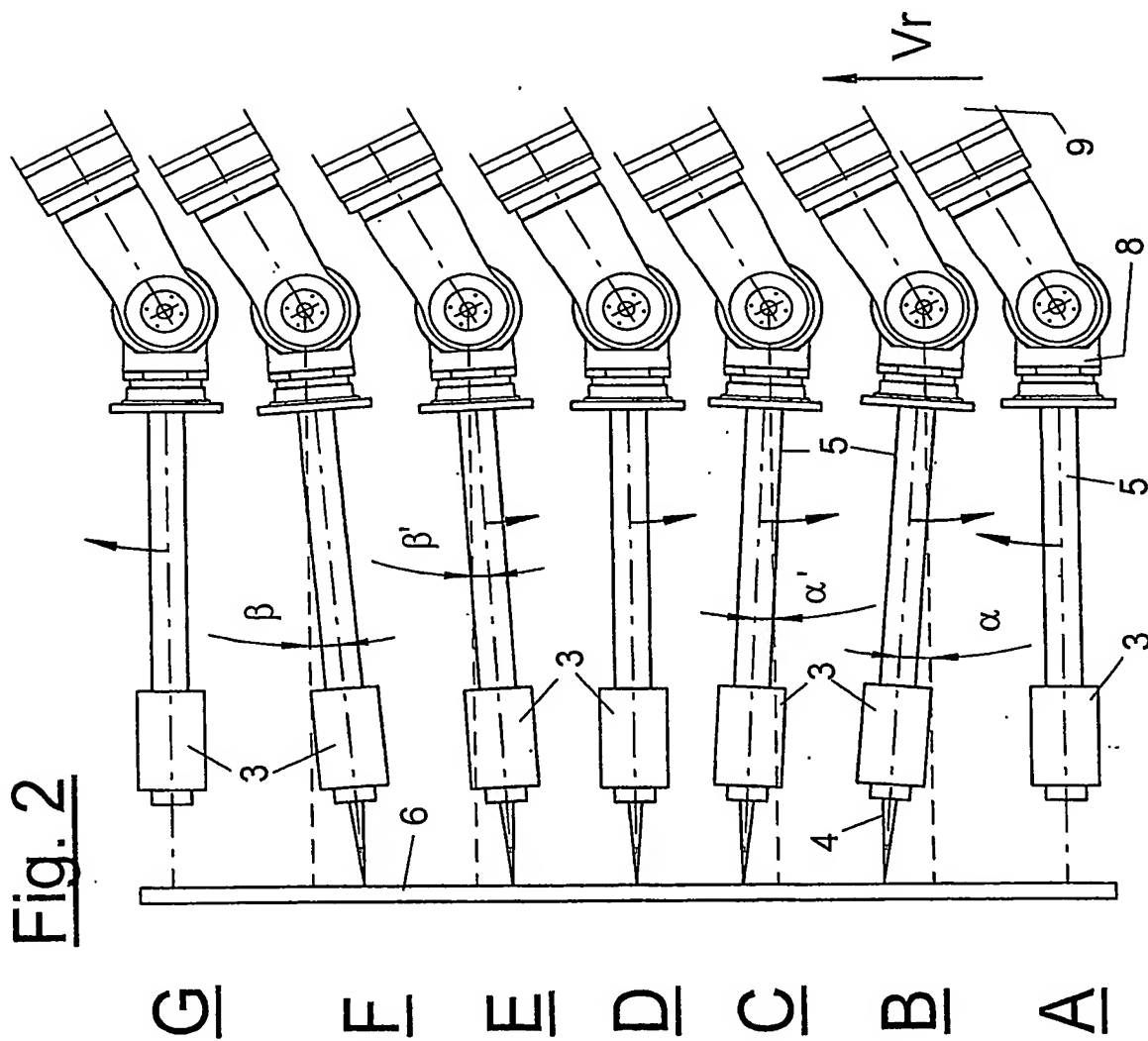


Fig. 3

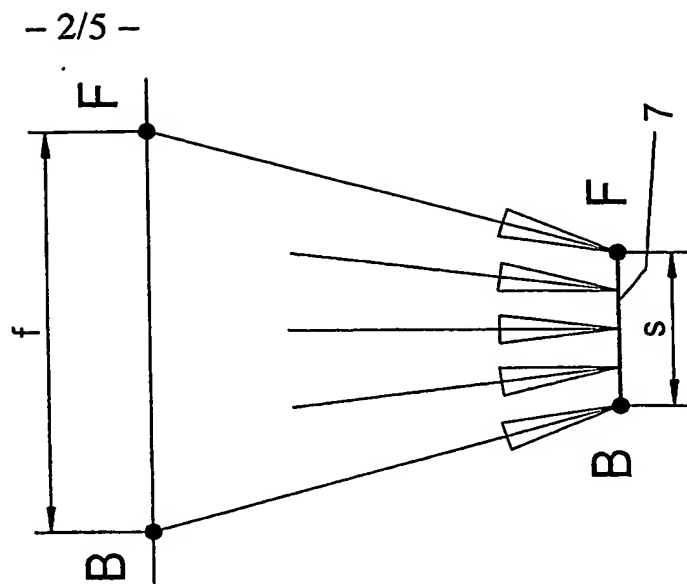




Fig. 5

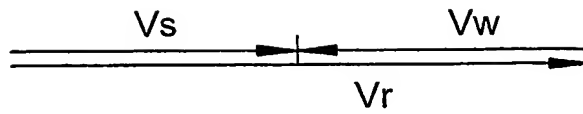
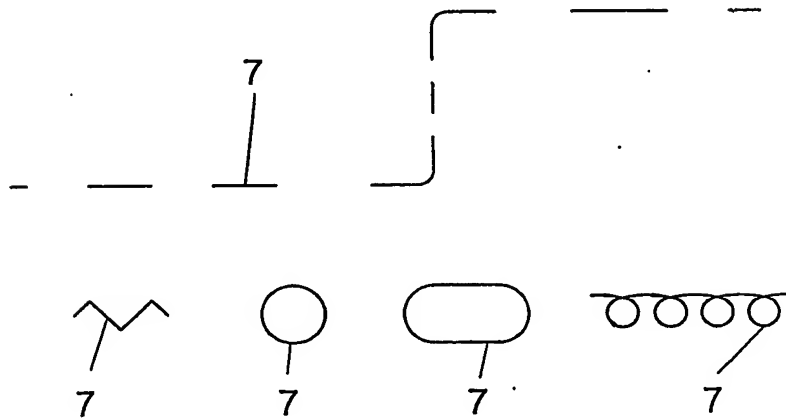


Fig. 6





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**